

DOI10.37882/2223–2966.2022.07.15

ВЛИЯНИЕ ШАГА РАСЧЕТНОЙ СЕТКИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ОТНОШЕНИЙ МЕЖДУ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

INFLUENCE OF COMPUTATIONAL GRID SPACE IN CONSTRUCTING BELONGINGRESS FUNCTIONS OF RELATIONSHIPS BETWEEN PETROPHYSICAL PARAMETERS

**P. Kozhevnikova
V. Kuntsev
A. Chuvashov**

Summary. The task of assessing the reliability of petrophysical models in the calculation of hydrocarbon reserves is one of the tasks solved under conditions of uncertainty. In conditions of uncertainty, fuzzy modeling technology can be used. The first stage of this technology is the construction of the membership function, which is based on the computational grid. The tasks that require consideration include the problem of selecting the optimal step of the computational grid. The article presents the results of the calculated membership functions of the relationships between the well logging and core parameters, built using different grid step frequencies, and the convolution of these relationships. During the experiments, the exponential model of the membership function was used. The effective parameter increased in proportion to the size of the computational grid. The results obtained in the course of the experiments make it possible to determine the reliability with greater accuracy, which reflects such a characteristic as the maximum value of the membership function of the predicted value, which was the ratio "porosity according to logging — water saturation" in this article. The maximum value of the reliability of this ratio increased from 0.741 to 0.754 with an increase in the grid size from 25×25 to 300×300, which in turn amounted to 1.7%. The article also concluded that the use of a grid of 1000 × 1000 or more is inappropriate, since it does not lead to significant changes, but increases the time spent on calculations.

Keywords: membership function, fuzzy relations, petrophysical parameters, computational grid, improving the quality of reliability assessment.

Кожевникова Полина Валерьевна

К.т.н., ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный
технический университет»
aira_dark@list.ru

Кунцев Виталий Евгеньевич

К.т.н., ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный
технический университет»
vkuntsev@ugtu.net

Чувашов Артур Александрович

ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический
университет»
achuvashov@ugtu.net

Аннотация. Задача оценки достоверности петрофизических моделей при подсчете запасов углеводородов относится к задачам, решаемым в условиях неопределенности. В условиях неопределенности можно воспользоваться технологией нечеткого моделирования. Первым этапом данной технологии является конструирование функции принадлежности, в основе которой лежит расчетная сетка. К задачам, требующим рассмотрения, относится задача подбора оптимального шага расчетной сетки. В статье представлены результаты рассчитанных функций принадлежности отношений между параметрами по ГИС и по керну, построенные с использованием разной частоты шага расчетной сетки, и свертка данных отношений. При проведении экспериментов использовалась экспоненциальная модель функции принадлежности. Эффективный параметр увеличивался пропорционально размеру расчетной сетки. Результаты, полученные в процессе проведения экспериментов, позволяют определить достоверность с большей точностью, что отражает такая характеристика, как максимальное значение функции принадлежности прогнозируемого значения, которым являлось в данной статье отношение «пористость по ГИС — водонасыщенность». Максимальное значение достоверности данного отношения увеличилось с 0.741 до 0.754 при увеличении размера сетки с 25×25 до 300×300, что в свою очередь составило 1.7%. Также в статье сделан вывод, что использование сетки 1000×1000 и более является нецелесообразным, так как к существенным изменениям не приводит, но повышает временные затраты на вычисления.

Ключевые слова: функция принадлежности, нечеткие отношения, петрофизические параметры, расчетная сетка, повышение качества оценки достоверности.

Введение

Оценка достоверности петрофизических параметров играет огромную роль при подсчете запасов углеводородов. Данная задача относится к задачам, решаемым в условиях неопределенности. Традиционно для решения данных задач используются статистические методы, но в последнее время для оценки достоверности все чаще используют методы, основанные на нечетком моделировании [1, 2, 3], так как при статистической обработке данных необходимо повторно проводить эксперименты, что не представляется возможным при решении задач нефтегазопромысловой отрасли. В связи с чем основой ошибочных заключений при оценке достоверности петрофизических параметров порой считается статистическая обработка информации. При решении задач, когда повторное проведение эксперимента не возможно, можно воспользоваться технологией нечеткого моделирования, которая обеспечивает снижение технико-экономических рисков, учитывая неоднородность структуры данных.

Особенностями измеренных петрофизических параметров «кern-кern» и «кern-ГИС», лежащих в основе формирования математических моделей в нефтегазовой отрасли, являются фрагментарность, неоднородность и неопределенность. Данная неопределенность в результате наследуется в конечных построениях.

Согласно технологии нечеткого моделирования [4, 5] достоверность значений петрофизических моделей отражает функция принадлежности, построение которой основано на покрытии исходных данных (измеренных значений параметров) $s^j \in S, j = 1 \div K$ прямоугольной сеткой S размером $N \times M$.

Не рассмотренным моментом остался подбор шага расчетной сетки, который может позволить получить более высокую разрешающую способность сетки и более точный результат вычисления, поэтому данная статья посвящена задаче подбора оптимального размера расчетной сетки. Научная новизна статьи заключается в выборе оптимальной частоты шага расчетной сетки, позволяющей повысить качество построения функций принадлежности отношений между петрофизическими параметрами, характеризующими среду на нефтегазоперспективность.

Цель исследования

Целью исследования является повышение качества оценки достоверности петрофизических моделей за счет изменения шага расчетной сетки.

Материал и методы исследования

Все расчеты производились в программе, разработанной авторами на языке программирования Matlab.

Для исследования в качестве материалов были выбраны два отношения между петрофизическими параметрами, характеризующие среду на нефтегазоперспективность:

1. Одновременно измеренные значения пористости по ГИС и пористости по керну (пористость по ГИС определяется по данным, полученным в результате интерпретации результатов геофизических исследований скважин; пористость по керну — в результате анализа кернового материала) (см. рисунок 1а). Данное отношение взято из [6].
2. Одновременно измеренные значения пористости по керну и остаточной водонасыщенности (остаточная водонасыщенность также определяется на основе анализа кернового материала) (см. рисунок 1б). Данное отношение получено из [7].

Данные, лежащие в основе исследования, образуют подмножество $A \subset S$. Функция принадлежности $\mu_A(s)$ для данных $s \in S$ рассчитывается по формуле:

$$\mu_A(s) = \frac{A^\varepsilon(s)}{\max_s [A^\varepsilon(s)]}$$

где функция $A^\varepsilon(s)$ есть поле рассеяния для $s^j \in S, j = 1 \div K$, которое соответствует условию:

$$\max_{\Delta S \in \varepsilon} |A^\varepsilon(s)\Delta S - A(\Delta S)| \leq \varepsilon,$$

где $A(\Delta S)$ — количество значений из $A \subset S$, целиком лежащее в ΔS .

Поле рассеяния вычисляется по формуле:

$$A^\varepsilon(s) = \sum_{k=1}^K \zeta(s^k) K(s^k, s),$$

где $K(s^k, s)$ — базисная система функций, $\zeta(s^k)$ — значения точечных источников.

Для оценки достоверности петрофизических моделей, как правило, в качестве базисной системы функций используется экспоненциальная модель, так как она имеет принцип максимальной энтропии:

$$K(s^k, s) = \frac{1}{\sqrt{pж}} \exp \left[\frac{-|s^k - s|^2}{ж^2} \right],$$

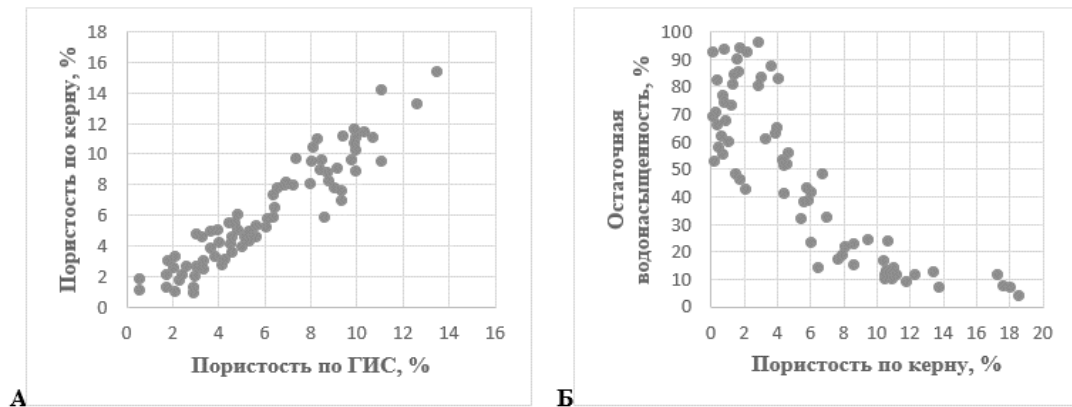


Рис. 1. Экспериментальные данные: а — одновременно измеренные значения параметров «пористость по ГИС» и «пористость по керну»; б — одновременно измеренные значения параметров «пористость по керну» и «остаточная водонасыщенность»

где η — параметр рассеяния.

Поле рассеяния, основанное на экспоненциальной модели, можно интерпретировать как диффузионное рассеяние точечных источников, расположенных в s^k , в бесконечном однородном фазовом пространстве параметров [8].

Таким образом, функция принадлежности представляет собой матрицу размером N на M , содержащую значения достоверности от 0 до 1. 0 означает, что параметры не могут принимать данные значения, а 1 — достоверность очень высока, что параметры примут данные значения.

Результаты исследования и их обсуждение

Для исследования влияния шага расчетной сетки при построении функций принадлежности исходных отношений между петрофизическими параметрами и отношения, полученного в результате выполнения свертки двух нечетких отношений, количество ячеек сетки принималось равным 25×25 (см. рисунок 2), 50×50 (см. рисунок 3), 300×300 (см. рисунок 4) и 1000×1000 (см. рисунок 5). Эффективный параметр изменялся пропорционально размеру сетки ($\eta = 0.75, 1.5, 9, 30$).

Расчет функций принадлежности отношения петрофизических параметров «пористость по ГИС» и «остаточная водонасыщенность» посредством промежуточного параметра «пористость по керну» выполнялся на основе композиции Мамдани (максиминной нечеткой свертки) [9]:

$$M_{A \circ R}(x, z) = \max_y [\min(M_A(x, y), M_R(y, z))].$$

Композиция Мамдани $M_A(x, y)$ и $M_R(y, z)$ соответствует подстановке уравнений с исключением общей переменной [10].

При изменении количества ячеек сетки с 25×25 до 50×50 функция принадлежности начинает принимать более плавный характер. Так как шаг между ячейками становится меньше, оценку достоверности по данной функции возможно определить с большей точностью. Максимальное значение рассчитанной функций принадлежности отношения петрофизических параметров «пористость по ГИС» и «остаточная водонасыщенность» уменьшается с 0.741 до 0.705, что соответственно отображает цветовая шкала, расположенная справа на графике.

При количестве ячеек сетки 300×300 (см. рисунок 4) функция принадлежности принимает еще более плавный характер, а максимальное значение рассчитанной функций принадлежности отношения петрофизических параметров «пористость по ГИС» и «остаточная водонасыщенность» повышается до 0.754, что больше, чем при результате, полученном на сетке 25×25 .

При количестве ячеек сетки 1000×1000 (см. рисунок 5) функция принадлежности визуально уже не отличается от результата, полученного при значении 300×300 , а максимальное значение рассчитанной функций принадлежности отношения петрофизических параметров «пористость по ГИС» и «остаточная водонасыщенность» повышается до 0,761.

Сравнение результатов, полученных в процессе проведения экспериментов, показывает, что, не смотря на схожесть функций принадлежности, использование расчетной сетки с большей частотой шага позволяет

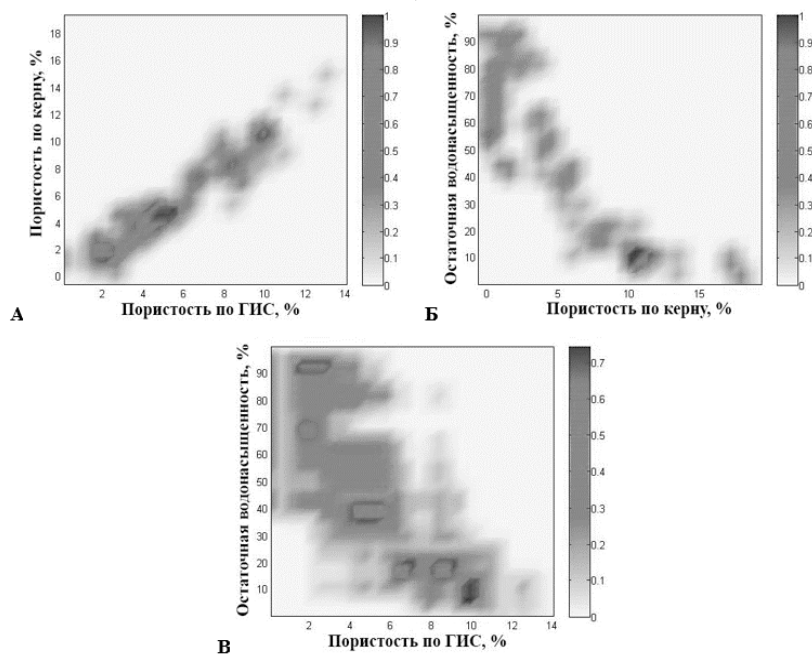


Рис. 2. Построенные на сетке размером 25×25 со значением эффективного параметра 0.75 функции принадлежности: а — отношения «пористость по ГИС — пористость по керну»; б — отношения «пористость по керну — остаточная водонасыщенность»; в-отношения «пористость по ГИС — водонасыщенность». Здесь и далее в главной области рисунков отображаются функции принадлежности отношений между параметрами, а цветовая шкала в правой части рисунков отображает само значение достоверности.

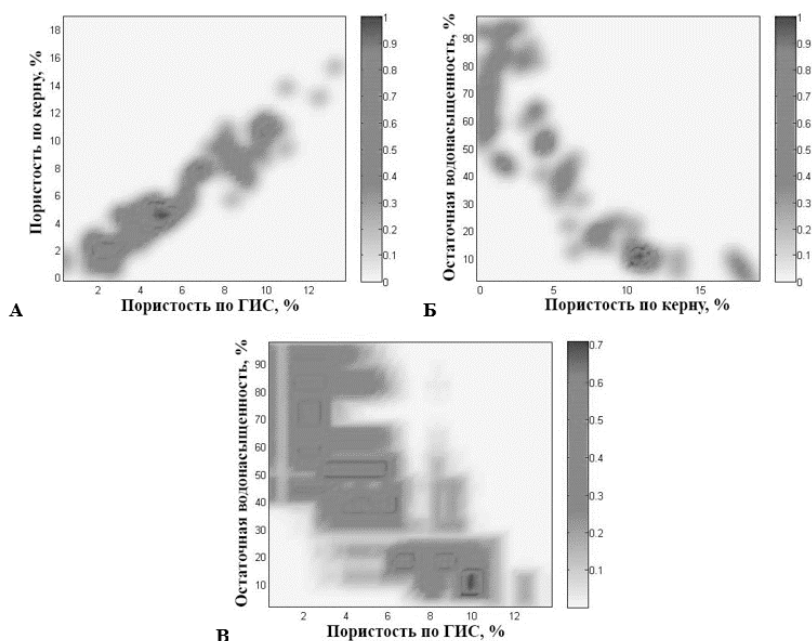


Рис. 3. Построенные на сетке размером 50×50 со значением эффективного параметра 1.5 функции принадлежности: а –отношения «пористость по ГИС — пористость по керну»; б — отношения «пористость по керну — остаточная водонасыщенность»; в-отношения «пористость по ГИС — водонасыщенность»

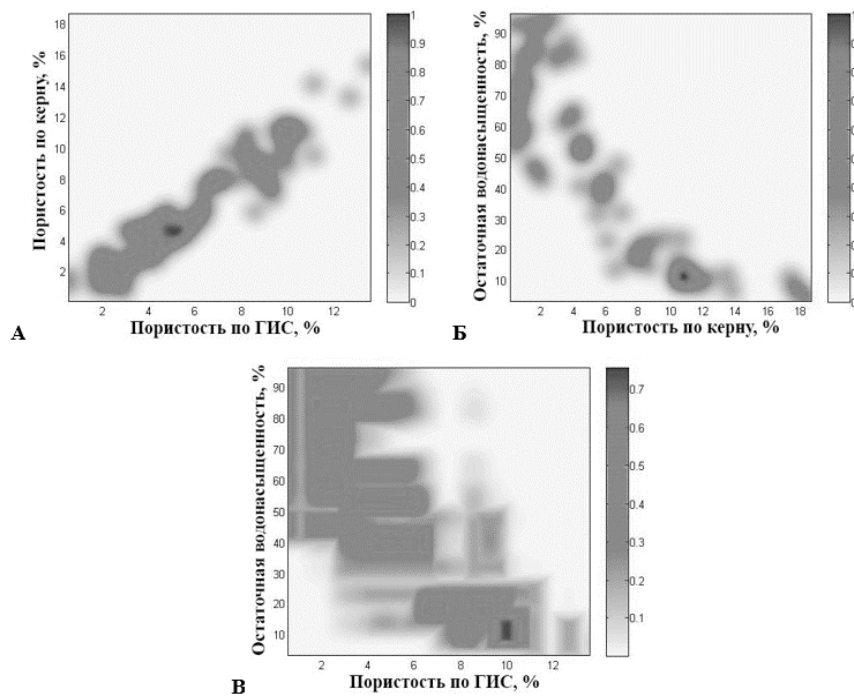


Рис. 4. Построенные на сетке размером 300×300 со значением эффективного параметра 9 функции принадлежности: а – отношения «пористость по ГИС — пористость по керну»; б — отношения «пористость по керну — остаточная водонасыщенность»; в-отношения «пористость по ГИС — водонасыщенность»

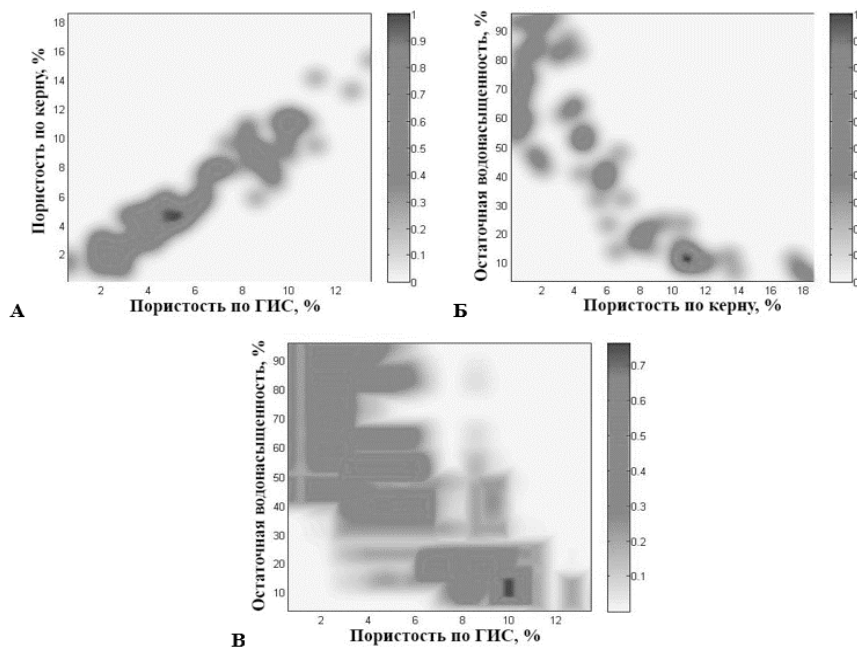


Рис. 5. Построенные на сетке размером 1000×1000 со значением эффективного параметра 30 функции принадлежности: а — отношения «пористость по ГИС — пористость по керну»; б — отношения «пористость по керну — остаточная водонасыщенность»; в-отношения «пористость по ГИС — водонасыщенность»

повысить достоверность расчетов. Достоверность прогнозируемого отношения «пористость по ГИС — водонасыщенность» при разной частоте шага расчетной сетки мало отличается друг от друга. Так, например, максимальное значение достоверности отношения «пористость по ГИС — водонасыщенность» при размере сетки 25×25 составило 0.741, для сетки 50×50 — 0.705, 300×300 — 0.754, а для сетки 1000×1000 — 0,761. Таким образом, для всех вариантов сеток различия в значениях достоверности невелики. Учитывая, что при повышении количества ячеек сетки затрачивается больше вычислительных ресурсов, и для использования сетки размером 1000×1000 требуется в 10 раз больше машинного времени, чем для сетки 300×300 , расчеты целесообразней проводить при значении 300×300 . Кроме того, можно сделать вывод о том, что дальнейшее уменьшение шага сетки не приведет к какому-либо значительному улучшению качества прогноза, поскольку в данном случае большее влияние оказывают качество и количество начальных данных.

Выводы или заключение

В работе проведена оценка качества построения функций принадлежности отношений между петрофизическими параметрами, характеризующими среду на нефтегазоперспективность с использованием различной частоты шага расчетной сетки в программе, разработанной на языке программирования Matlab. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Максимальная достоверность прогнозируемого отношения «пористость по ГИС — водонасыщенность», полученная при использовании сетки 300×300 , составила 0.754, что больше на 0.013 единиц (1.7%), чем максимальная достоверность того же отношения, полученного на сетке 25×25 .
2. Использование расчетной сетки размером 1000×1000 и более представляется не целесообразным, так как не приводит к существенному улучшению качества расчетов, но повышает затраты вычислительных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потехин Д.В. Оптимизация технологии многовариантного трехмерного геологического моделирования залежей нефти и газа: автореферат дис. ... кандидата технических наук. — Пермь: Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, 2014. — 20 с.
2. Алтунин А.Е., Семухин М.В., Кузяков О.Н. Методы общей теории неопределенностей в геолого-промысловом анализе. — Тюмень, 2019. — 463 с.
3. Мотрюк Е.Н., Бурмистрова О.Н. Оценка достоверности геологогеофизических моделей методами нечеткого моделирования // Научно-технический вестник Поволжья. — 2020. — № 11. — С. 111–114.
4. Кобрунов А.И., Кожевникова П.В. Теоретические основы при прогнозировании параметров геологических сред в условиях неопределенности // Фундаментальные исследования. — 2015. — № 5–3. — С. 506–510.
5. Кобрунов А.И., Дорогобед А.Н., Кожевникова П.В. Элементы информационной экспертизы результатов геологического моделирования в нефтегазовой геологии // Геофизика. — 2017. — № 1. — С. 16–21.
6. Ниязова А.Т., Умирова Г.К., Ахметов Е.М. Характеристика коллекторских свойств продуктивных горизонтов по керну и гис в терригенных отложениях месторождения Арыстановское // труды Международных сатпаевских чтений «Роль и место молодых ученых в реализации новой экономической политики Казахстана». — 2015. — Том III. — С. 39–44
7. Рыскаль О.Е., Ахметов Р.Т., Малинин В.Ф. Типы пористости сложных карбонатных коллекторов по результатам петрофизических исследований // Геология нефти и газа. — 1987. — № 7. — С. 47–50.
8. Кобрунов А.И., Бурмистрова О.Н. Полугрупповые свойства распределения Гаусса // Фундаментальные исследования. — 2015. — № 2, Ч. 14. — С. 3044–3047
9. Mamdani E.H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant // Electrical Engineers, Proceedings of the IEE. — 1974. — 121(12)– P. 1585–1588.
10. Кобрунов А.И., Бурмистрова О.Н., Кожевникова П.В. Нечеткие подстановки и принцип Мамдани // Успехи современного естествознания. — 2016. — № 1. — С. 96–101.

© Кожевникова Полина Валерьевна (aira_dark@list.ru),

Кунцев Виталий Евгеньевич (vkuntsev@ugtu.net), Чувашов Артур Александрович (achuvashov@ugtu.net).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»